Agriculture
Canada

Research Branch
Direction générale de la recherche

Bulletin technique 1984-4F

La méthode du transect et son application aux problèmes de la prospection pédologique

Canada

Sur la couverture, les points sur la carte indiquent les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

90-05972/

On peut se procurer des exemplaires
de cette publication à l'adresse suivante:

Institut de recherche sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ont.)
K1A 0C6

Production du Service aux programmes de recherche

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. A54-8/1984-4F
ISBN 0-662-92480-0

La méthode du transect et son application aux problèmes de la prospection pédologique

C. WANG
Institut de recherche sur les terres

Contribution n° 82-02 de l'I.R.T.

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1984

TABLE DES MATIÈRES

		PAGE
RÉSUMÉ		i
1.	INTRODUCTION	1
2.	IDÉES PRÉCONÇUES SUR LA MÉTHODE DU TRANSECT	2
2.1	Ralentissement des travaux de cartographie des sols	2
2.2	Augmentation de la charge de travail au laboratoire des sols	3
2.3	Son emploi devrait être limité à la corrélation des sols et à la vérification de l'exactitude des cartes	3
3.	LA MÉTHODE DU TRANSECT	3
3.1	Sélection de transects représentatifs	4
3.11	Le principe du sondage aléatoire stratifié	4
3.2	Exemples de sélection des transects aléatoires stratifiés	6
3.21	Taille des délimitations	6
3.22	Distribution d'une unité cartographique donnée	6
4.	DÉTERMINATION DE L'INTERVALLE DES OBSERVATIONS D'UN TRANSECT	7
4.1	Observation	7
4.2	Intervalle des observations (I.O.)	7
4.21	I.O. optimum	7
4.22	I.O. arbitraire	9
5.	COMBIEN DE TRANSECTS SONT NÉCESSAIRES?	9
5.1	Niveau de probabilité	11
5.2	Variabilité du sol	11
5.3	Intervalle de probabilité	11
6.	RÉSUMÉ DES PROCÉDÉS LIÉS À LA MÉTHODE DU TRANSECT	11
6.1	Pour établir les légendes et faire les levés cartographiques sur le terrain	11
6.2	Pour parfaire les unités cartographiques des sols et établir la corrélation des sols	16
6.3	Pour l'interprétation pédologique	17
6.4	La méthode graphique d'Arnold	17
6.41	L'emploi du niveau de probabilité	17
6.42	Combien d'échantillons	20

PAGE

7. QUELQUES EXEMPLES LOCAUX 20

7.1 Quantification de certaines propriétés physiques et chimiques d'une unité cartographique 20
7.11 Situation 20
7.12 But 21
7.13 Méthode 21
7.14 Résultats et discussion 21
7.15 L'emploi de la stratification pour quantifier une unité cartographique 26
7.2 Établissement des unités cartographiques pour une terrasse deltaique au Québec 26
7.21 Situation 26
7.22 Questions 28
7.23 Méthode 28
7.24 Résultats 28
7.25 Discussion 28
7.3 Établissement des cartes et définition des unités cartographiques pour une zone agricole plate au Québec 31
7.31 Situation 31
7.32 Questions 31
7.33 Méthode 31
7.34 Résultats 31
7.35 Discussion 33

BIBLIOGRAPHIE 34

REMERCIEMENTS 35

LISTE DES FIGURES

		PAGE
1.	Effort équivalent en heures-hommes par km^2: (a) terre agricole irriguée, terrain presque plat (b) terre recouverte de forêt, terrain de montagne (d'après Dos Santos, 1978).	10
2.	Diagramme de la limite de probabilité binomiale d'Arnold pour 0 à 50 échantillons.	18
3.	Diagramme de la limite de probabilité binomiale d'Arnold pour 50 à 350 échantillons.	19
4.	Distribution des fréquences pour quelques propriétés sélectionnées du sol de l'unité cartographique de Dalhousie.	25
5.	Esquisse du transect traversant la terrasse deltaique au Québec.	27

LISTE DES TABLEAUX

		PAGE
1.	Fiche de données d'un transect de sol.	8
2.	Tableau de "t" de Student.	12
3.	Pourcentage de divers sols observés dans les transects de l'unité cartographique Eustis-Troup (données d'après Hajek, 1977).	14
4.	Analyse statistique de l'unité cartographique Eustis-Troup.	15
5.	Pourcentage de carbone organique dans l'horizon A.	22
6.	Pourcentage d'argile dans le sous-sol (de 50 à 60 cm).	23
7.	Couleur du sol (valeur).	24
8.	Fiche de données sur la terrasse deltaique au Québec.	29
9.	Sommaire de certaines caractéristiques du sol d'un transect tracé sur une terrasse deltaique au Québec.	30
10.	Fiche de données sur la région de Sainte-Victoire au Québec.	32

RÉSUMÉ

En matière de prospection pédologique, on a depuis toujours investi beaucoup plus d'efforts dans l'unité taxinomique que cartographique. Certaines de nos unités cartographiques ne sont pas bien définies. Cette publication décrit une méthode susceptible d'accroître la précision de la cartographie pendant tout le processus de prospection, à partir de l'élaboration de la légende jusqu'à son achèvement.

Dans ce bulletin technique, on trouvera une étude du principe qui sous-tend la méthode et un exposé des techniques, des exemples de diverses régions du Canada et des États-Unis pour illustrer les applications de la méthode du transect, une description des méthodes statistiques utilisées dans la compilation des données et un exposé critique des idées préconçues sur la méthode du transect.

Summary

Traditionally, in soil survey, much more effort has been put into the taxonomic unit than the map unit. Some of our map units are not well defined. Here, a method is described which can facilitate accuracy of mapping through the survey from legend development to completion.

The principle of the method is discussed and the procedures outlined. Examples from studies conducted in various regions of Canada and of the United States are given to illustrate various applications of the transect method. The statistical methods used in data compilation are described. The misconceptions about the transect method are also discussed.

1. INTRODUCTION

Dans les milieux pédologiques, on admet généralement que l'unité taxinomique est de nature conceptuelle tandis que l'unité cartographique comporte des implications géographiques (Personnel de prospection pédologique, 1975, Groupe de travail sur les systèmes cartographiques, 1981). La tradition veut que l'on consacre beaucoup plus d'efforts et d'études à l'unité taxinomique qu'à l'unité cartographique (Personnel de prospection pédologique 1975, Comité de prospection pédologique du Canada, 1978). L'identification de l'unité taxinomique a été étudiée pour les besoins de la corrélation, alors que la définition de l'unité cartographique a été laissée largement entre les mains des chefs d'équipes de prospection. Par conséquent, la qualité des définitions de l'unité cartographique a varié selon l'intérêt et l'aptitude que le chef d'équipe apportait à l'analyse du terrain et à l'identification de ses composants (Amos et Whiteside, 1975).

Un bon mémoire pédologique est basé sur une carte des sols fiable. Or, une carte fiable exige des unités cartographiques bien définies qui à leur tour demandent non seulement une définition quantitative des sols dominants et sous-dominants, mais aussi une bonne définition de la variabilité des sols à l'intérieur des différentes unités cartographiques et d'une unité à l'autre.

Si on admet le bien-fondé de ces exigences, alors on peut dire que certaines descriptions d'unités cartographiques que nous avons préparées dans le passé n'étaient pas bien définies. Nous nous sommes rendus compte de ces problèmes il y a quelques années déjà, et nous avons commencé à mettre au point un "système cartographique pour le Canada" (Groupe de travail sur les systèmes cartographiques, 1981). De nombreuses méthodes ont été créées pour vérifier l'exactitude d'une carte une fois que le travail sur le terrain a été achevé; la plupart d'entre elles sont basées sur le retour à des endroits sélectionnés pour y faire des échantillonnages plus intensifs.

Cependant, il faut mettre l'accent davantage sur une démarche qui favorise la précision cartographique d'un bout à l'autre de la prospection, du stade de l'élaboration de la légende jusqu'à l'achèvement du travail. Une telle démarche devrait nous aider à comprendre le degré de variabilité entre les composants des unités cartographiques, et à le décrire d'une manière précise tant pour les autres spécialistes que pour le grand public.

La définition des unités cartographiques a été insuffisante dans le passé, fait que l'on peut attribuer en partie au manque de représentativité des observations et des échantillons des sols (Amos et Whiteside, 1975). Quoique les cartographes des sols connaissent l'emploi du transect depuis de nombreuses années, le "transect aléatoire stratifié" avancé ici (voir la description dans la partie 3) jette un regard nouveau sur les méthodes employées pour examiner des terrains et des sols, éliminer les échantillons non représentatifs, enregistrer les observations, analyser les résultats et décrire la variabilité observée. Cette approche rénovée et élargie devrait nous aider à mieux maîtriser la qualité et la précision (ou corrélation) à toutes les étapes de la prospection; de plus, elle devrait nous permettre d'indiquer aux utilisateurs le degré de fiabilité des données fournies.

2. IDÉES PRÉCONÇUES SUR LA MÉTHODE DU TRANSECT

Nous ferons ici un bref exposé de quelques idées préconçues qui courent au sujet de la méthode du transect:

2.1 Ralentissement des travaux de cartographie des sols

Les différences entre la cartographie par la méthode du transect et la méthode usuelle dite de la "cartographie libre" se trouvent dans la façon d'aborder le terrain et dans la méthode de traitement et de cueillette des informations sur les sols.

Dans la cartographie libre, on tente d'abord d'établir la relation entre les sols et les formes du relief en vérifiant les sols fréquemment aux points stratégiques du relief tels que les crêtes, les mi-pentes, les pieds, les dépressions, etc. Une fois que la relation entre le sol et le relief est établie avec un certain degré de probabilité, le cartographe "libre" va accélérer l'allure des levés sur les formes de relief semblables en faisant des observations moins fréquentes sur quelques points stratégiques relativement peu nombreux (tels que les crêtes). Les informations sur les sols sont recueillies systématiquement à partir des observations de ces points stratégiques, et ces informations vont par conséquent refléter la conception centrale des sols présents dans le terrain, et ce malgré le grand nombre de descriptions et d'échantillons pris et analysés. Par voie de conséquence, la gammme de variation attribuée au sol dans la légende est généralement bien plus étroite que dans le terrain réel.

La méthode du transect permet d'aborder le même paysage en sélectionnant au hasard quelques transects représentatifs et en effectuant des observations à des intervalles fixes le long de ces transects. Une fois qu'on a établi la relation entre le sol et le paysage (peut-être indiquée par une configuration qui se répète dans les observations des formes de relief semblables), on peut accélérer l'allure du travail cartographique parce que moins de transects seront nécessaires pour les paysages semblables. Les données recueillies sur les sols par la méthode du transect ont une distribution représentative sur le terrain, et on en obtient donc une estimation plus exacte de la gamme de variation réelle du sol (ou de l'unité cartographique). Nous nous pencherons plus loin sur des méthodes permettant de sélectionner des transects représentatifs et de compiler les informations sur les sols.

En adoptant la méthode du transect pour la cartographie des sols, la charge de travail à faire sur le terrain ne devrait pas dépasser celle occasionnée par la méthode usuelle de la "cartographie libre". En réalité, Steers et Hajek (1979) ont démontré dans une certaine région de l'Alabama que la méthode du transect peut augmenter la productivité cartographique jusqu'à 500% par rapport à la méthode usuelle tout en assurant la même qualité cartographique.

2.2 Augmentation de la charge de travail au laboratoire des sols

La charge de travail dans un laboratoire pédologique dépend de la nature du projet de prospection pédologique, du niveau de définition que le chef de projet veut donner aux unités cartographiques, du genre de propriétés à caractériser, de la variation ou de l'uniformité relative de détails et de précision prévues pour les unités cartographiques (niveau de probabilité). La méthode du transect représente un système d'échantillonnage et d'observation des sols qui est statistiquement valable, et les échantillons pris ainsi devraient être plus représentatifs que ceux pris pendant la prospection usuelle. Opter pour la méthode du transect n'équivaut pas nécessairement à augmenter la charge de travail en laboratoire.

Si l'on n'est pas satisfait du niveau de précision des unités cartographiques des sols définies dans nos mémoires pédologiques classiques et si l'on veut obtenir des unités cartographiques ayant une définition bien plus grande, alors il faudra d'autant plus de données de laboratoire des sols que le besoin d'améliorer la fiabilité de la prospection pédologique devient plus pressant.

2.3 Son emploi devrait être limité à la corrélation des sols et à la vérification de l'exactitude des cartes

Certains voient la méthode du transect comme un procédé d'échantillonnage statistique conçue pour la corrélation des sols et la vérification aléatoire de l'exactitude des cartes. Ceux-ci n'y voient ni un outil permettant de quantifier les unités cartographiques, ni un moyen de faire des levés cartographiques courants des sols.

La méthode du transect représente en effet un excellent système de sondage pour la corrélation des sols ou la vérification aléatoire. Soit, mais comme nous l'avons expliqué au paragraphe 2.1, la méthode du transect est, de plus, supérieure à la méthode usuelle de la "cartographie libre" pour les besoins de la prospection courante. Certaines fiches quotidiennes des transects compilées pour la cartographie courante peuvent aussi servir à quantifier des unités cartographiques, ce qui facilite grandement la corrélation des sols et la vérification de l'exactitude des cartes des sols.

3. LA MÉTHODE DU TRANSECT

Johnson (1961) explique la méthode du transect de la manière suivante:

> Les méthodes de détermination des aires par transect sont basées sur le principe que la longueur totale d'un corps donné le long d'un transect en ligne droite est directement proportionnelle à la superficie de ce corps à l'intérieur de la délimitation plus grande recoupée par le transect.

On peut utiliser deux types de transect. La méthode de l'interception linéaire (ou du transect linéaire) exige qu'on connaisse et qu'on reconnaisse rapidement les sols le long du transect, ainsi que les limites entre ceux-ci.

Par contre, la méthode de l'interception ponctuelle (ou du transect ponctuel) identifie les unités de sols à des intervalles prédéterminés. En faisant une étude comparative des deux méthodes de transect sur une diversité de terrains, Dos Santos (1978) a trouvé que la méthode du transect ponctuel était supérieure à l'autre. Dans la présente publication, le terme "Méthode du transect" désigne surtout le transect ponctuel.

La méthode du transect définie ici peut s'appliquer à deux stades différents de la prospection des sols: l'établissement des unités cartographiques et les travaux courants connexes d'une part, et la corrélation des sols pour vérifier l'exactitude des cartes et quantifier les unités cartographiques d'autre part.

Pour l'établissement des unités cartographiques et les travaux de cartographie courante, les transects recoupent souvent une ou plusieurs lignes de délimitation des sols. Les informations obtenues le long de ces transects servent à conceptualiser des unités cartographiques spécifiques, ainsi qu'à délimiter les unités cartographiques. Dans ces circonstances, on ne devrait pas employer les données recueillies le long du transect pour faire une quantification statistique des unités cartographiques des délimitations en question. Un ensemble de données constitué dans le but d'élaborer et de vérifier le concept d'une unité cartographique ne devrait être employé ni pour vérifier l'exactitude de cette même unité cartograhique, ni pour la quantifier. Cependant, si le transect est situé entièrement à l'intérieur d'une délimitation donnée, les informations qui en proviennent peuvent être utilisées pour quantifier l'unité cartographique ou en vérifier l'exactitude.

Pour la corrélation des sols, la vérification de l'exactitude des cartes et la quantification des unités cartographiques, on doit normalement faire appel à des transects nouveaux. Les exceptions à cette règle sont les transects qui n'ont ni traversé des limites de polygones, ni provoqué la modification de ces limites.

3.1 Sélection de transects représentatifs

La sélection de transects d'observation non biaisés est l'opération la plus délicate de la méthode du transect. Nous discuterons le principe du sondage aléatoire et du sondage aléatoire stratifié, ainsi que quelques exemples.

3.11 Le principe du sondage aléatoire stratifié

Il importe d'éliminer les transects non représentatifs et de définir les données cartographiques du transect et les caractéristiques des unités cartographiques des sols en se basant sur des échantillons non biaisés.

Le but du sondage aléatoire est d'éliminer les échantillons non représentatifs. En général, mieux on connaît une population donnée, plus il est facile d'en éliminer les échantillons non représentatifs et moins il faut d'échantillons pour bien caractériser la population. Ce qui suit est une introduction à certains concepts statistiques de base, avec un aperçu des moyens qui permettent de réduire le nombre d'échantillons nécessaires.

La variance d'une moyenne $S^2_{\bar{x}} = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N}\right)$ .....(1)

où S^2 = la variance de la population; n = la taille de l'échantillon; $\left(\frac{N-n}{N}\right)$ est la correction finie de la population. Dans l'étude des sols, le nombre de transects sélectionnés (n) est toujours beaucoup plus petit que le nombre potentiel de transects disponibles (N). Par conséquent, $\frac{N-n}{N} = 1$ et l'équation (1) devient $S^2_{\bar{x}} = \frac{s^2}{n}$ .....(2)

Dans une unité cartographique de sol, les caractéristiques du sol de l'unité, telles que le pH, la couleur, la texture, etc., peuvent être considérées comme des populations, dont chacune comporte une gammme de variations à l'intérieur d'une délimitation et entre échantillons. La propriété moyenne estimative de la population ($\bar{x}$) s'exprime souvent sous la forme de l'intervalle de confiance ($\bar{x} \pm tS_{\bar{x}}$), où "t" représente la constante lorsque le degré de liberté et le niveau de probabilité sont fixes. Plus l'intervalle de probabilité est étroit (associé à une petite valeur de $tS_{\bar{x}}$), plus l'expression est précise. Pour resserrer l'intervalle de confiance de l'équation (2), on peut soit augmenter la taille de l'échantillon n (davantage d'observations et de transects), soit diminuer la variance S^2 de la population. On peut aussi resserrer l'intervalle de probabilité en baissant le niveau de probabilité.

Steel et Torrie (1960) ont déclaré que le meilleur moyen de diminuer une variance de population était de construire des strates à partir des unités d'échantillonnage, la variation globale étant cloisonnée de façon à l'attribuer autant que possible aux différences entre les strates. Ainsi, la variation interne d'une strate est ramenée au minimum. La variation entre les moyennes des différentes strates de la population ne contribue pas à l'erreur d'échantillonnage dans l'estimation de la moyenne de la population (Steel et Torrie, 1960).

Le principe du sondage stratifié peut être appliqué à la cartographie courante par la méthode du transect. Par exemple, avant de se rendre sur place pour les travaux de prospection, il est facile de trouver une grande quantité d'informations liées au sol de la région en question. On peut citer en exemple les informations géologiques ou géomorphologiques, les photographies aériennes, les configurations de la végétation, les cartes topographiques et parfois même une vieille carte et un rapport pédologiques. Ces informations étant disponibles, nous devrions en profiter pour faire une stratification de la population des sols et éliminer les transects non représentatifs. Dans ce qui suit, ces transects sélectionnés non biaisés seront appelés transects aléatoires stratifiés (T.A.S.).

3.2 Exemples de sélection des transects aléatoires stratifiés

3.21 Taille des délimitations

Sur une carte des sols, la taille des délimitations d'une unité cartographique donnée est généralement très variable. Si on veut utiliser la méthode du transect pour caractériser une unité cartographique, il est préférable de stratifier les observations du transect en fonction de la distribution des tailles des délimitations. À titre d'exemple, soit A une unité cartographique ayant sur une carte un total de 100 délimitations dont la taille varie de moins 1 cm^2 jusqu'à presque 50 cm^2. Parmi ces 100 délimitations, 70 ont une superficie de moins de 5 cm^2 et constituent environ 30% de l'aire totale de l'unité cartographique A. Les 30 autres délimitations plus grandes constituent les 70% qui restent de l'aire totale de l'unité cartographique A. En supposant une distribution normale de la taille des polygones, la sélection des transects aléatoires devrait, en principe, placer un transect sur chaque délimitation. De cette façon chaque délimitaiton, quelle que soit sa taille, a la même chance d'être sélectionnée pour représenter l'unité cartographique A. D'après cette approche théorique, 70% des transects seraient sélectionnés dans une zone représentant 30% de l'aire (c.-à-d. dans les délimitations plus petites). De toute évidence, un tel échantillonnage ne serait pas représentatif. Toutefois, on peut, grâce aux informations sur la distribution des tailles des délimitations, stratifier les échantillons selon la distribution de la population (en l'occurrence celle des tailles des délimitations). De cette façon nous ferons une sélection aléatoire où 30% des T.A.S. proviendront des délimitations plus petites et 70% des T.A.S. proviendront des plus grandes.

3.22 Distribution d'une unité cartographique donnée

On peut également stratifier les échantillons des transects en fonction de la distribution géographique d'une unité cartographique particulière sur une carte des sols. Par exemple, si 50% de l'aire d'une unité cartographique donnée est concentrée dans le coin nord-est de la carte, alors environ 50% des transects qui doivent caractériser cette unité cartographique devraient être sélectionnés dans le même coin nord-est.

Au début du travail cartographique, la sélection des T.A.S. est basée surtout sur les informations disponibles sur la géomorphologie, la géologie, le relief, la végétation, etc. Les prospecteurs pédologiques expérimentés peuvent également tirer beaucoup de renseignements des photos aériennes. Ensuite, des transects sont sélectionnés pour mettre les hypothèses à l'épreuve. En examinant ces données préliminaires des transects, on fait ressortir certaines relations entre le sol et le relief ou la végétation et on peut établir une légende provisoire pour la carte. À mesure de l'avancement des travaux cartographiques par la méthode du transect, on peut mieux établir les configurations de sol, relief et végétation, mieux définir les unités cartographiques et mieux préciser la légende de la carte.

4. DÉTERMINATION DE L'INTERVALLE DES OBSERVATIONS D'UN TRANSECT

On peut déterminer l'intervalle des observations soit de façon arbitraire, soit par des moyens statistiques définis. Nous traiterons les mérites et les limites de ces méthodes dans cette partie.

4.1 Observation

Les observations se font à intervalles fixes sur un transect choisi. D'ordinaire, on fait une brève description du sol et on prélève des échantillons si on souhaite obtenir des données analytiques. Pour enregistrer les informations pertinentes sur le terrain, le pédologue peut mettre au point des fiches de données adaptées au cas particulier. Le tableau 1 donne un exemple du genre de formulaire possible. On peut aussi enregistrer les informations au moyen d'une version modifiée de la fiche quotidienne CanSis (comprenant un module d'identification des transects).

Dans le cas des transects tracés uniquement pour la corrélation des sols ou pour vérifier l'exactitude d'une carte pédologique, on veut souvent déterminer seulement si "Oui, le point d'observation appartient à une certaine unité cartographique" ou "Non , il n'y appartient pas". Pour ce genre de circonstances, l'ouvrage d'Arnold intitulé "Graphical solution of binomial confidence limits in soil survey" (Détermination graphique de limites de probabilité binomiales en prospection pédologique, 1979) jette la base d'une détermination fiable des limites de probabilité par une méthode graphique, ce qui élimine tout calcul statistique. Nous traiterons la méthode graphique au paragraphe 6.4 de ce document.

4.2 Intervalle des observations (I.O.)

Nous employons l'abréviation I.O. pour désigner l'intervalle entre deux observations consécutives sur un transect. L'I.O. dépend de l'échelle cartographique: plus l'échelle est petite, plus l'I.O. est grand. Il dépend également de la nature du paysage, de la complexité de l'unité cartographique du sol, du but de l'application du transect et du rendement économique.

4.21 I.O. optimum

L'I.O. optimum est défini comme l'I.O. qui exige le moindre effort en heures-hommes par km^2 pour une précision cartographique et un niveau de confiance spécifiés, que ce soit pour estimer les composants des unités cartographiques ou pour établir la carte d'une zone donnée.

Dos Santos (1978) a estimé les composants des unités cartographiques de certaines cartes pédologiques dont l'intensité des levés était cotée au niveau 5, en les comparant avec des cartes à cote d'intensité 1 ou 2 qui servaient de témoins. Grâce à une précision et un niveau de probabilité bien définis (90% et 95% respectivement), il a montré que l'effort équivalent en heures-hommes par km^2 était très variable parmi les différents I.O. (fig. 1). L'I.O. optimum est celui qui correspond à l'effort minimum.

Tableau 1 FICHE DE DONNÉES D'UN TRANSECT DE SOL

Page n°

Position	Unité cartographique	
Transect n°	Intervalle des observations	Longueur (m)
Date	Photo	Par

Remarques

Profil n°_____

Pente (%) | Exposition

Position sur pente

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres

Notes supplémentaires*_____

Classification | Séries

Profil n°_____

Pente (%) | Exposition

Position sur pente

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres

Notes supplémentaires*_____

Classification | Séries

*Si un échantillon est pris pour les besoins de l'analyse, cocher ( ) l'horizon où l'échantillon a été prélevé et inscrire le n° de l'échantillon dans les "Notes supplémentaires".

L'I.O. optimum varie d'une unité cartographique à l'autre et d'un type de paysage à l'autre (fig. 1). En général, l'I.O. optimum s'allonge lorsque l'aire de la carte en cause devient moins complexe.

Quoiqu'il soit possible de déterminer l'I.O. optimum pour toutes les unités cartographiques, la démarche est longue et la méthode (Dos Santos, 1978) ne convient pas à la première phase d'un projet de prospection. Il faut donc disposer de moyens plus arbitraires pour déterminer les I.O., du moins au début des travaux cartographiques. Au dernier stade de la cartographie pédologique, il devient facile de calculer les I.O. optimums par des grandes unités cartographiques d'après la méthode décrite par Dos Santos (1978).

4.22 I.O. arbitraire

Il existe au moins deux méthodes arbitraires pour déterminer l'I.O.: 1) on choisit un I.O. qui se situe entre un dixième et un vingtième de la longueur du transect; cette méthode est commode dans la mesure où chaque transect est composé de 10 à 20 points d'observation, ce qui fait que les transects sont tous de poids égal dans l'analyse statistique; 2) on prend pour I.O. la moitié de la longueur du transect le plus court dans l'unité cartographique (généralement 0,5 cm environ sur la carte) de cette façon l'I.O. sera le même pour beaucoup d'unités cartographiques quelle que soit la longueur du transect; ce système est également indépendant de l'échelle des cartes, car il est en cm sur la carte plutôt qu'en km sur le terrain. Toutefois, le nombre d'observations pour chaque transect est très variable.

On préfère la première méthode, car elle accorde à chaque transect le même degré de liberté (entre 9 et 19) et elle facilite la compilation statistique.

5. COMBIEN DE TRANSECTS SONT NÉCESSAIRES?

Cette partie concerne les facteurs principaux qui déterminent nombre de transects nécessaires pour caractériser les propriétés du sol d'une unité cartographique donnée.

Pour estimer le nombre de transects nécessaires, Arnold (1979) et Hajek (1977) ont tous les deux employé la même équation:

Dans l'équation $y = \frac{t^2 S^2}{d^2}$ .....(3)

où y = le nombre de transects nécessaires

t = "t" de Student = $\frac{\bar{X} - \mu}{S_{\bar{x}}}$, x et μ sont respectivement la "moyenne estimative de la population" et la "moyenne de la population", où $S_{\bar{x}}$ représente l'erreur type

S^2 = la variance

d = l'écart admissible par rapport à la moyenne $tS_{\bar{x}}$ on trouve trois facteurs qui influencent le nombre de transects nécessaires pour caractériser une unité cartographique ou certaines propriétés du sol.

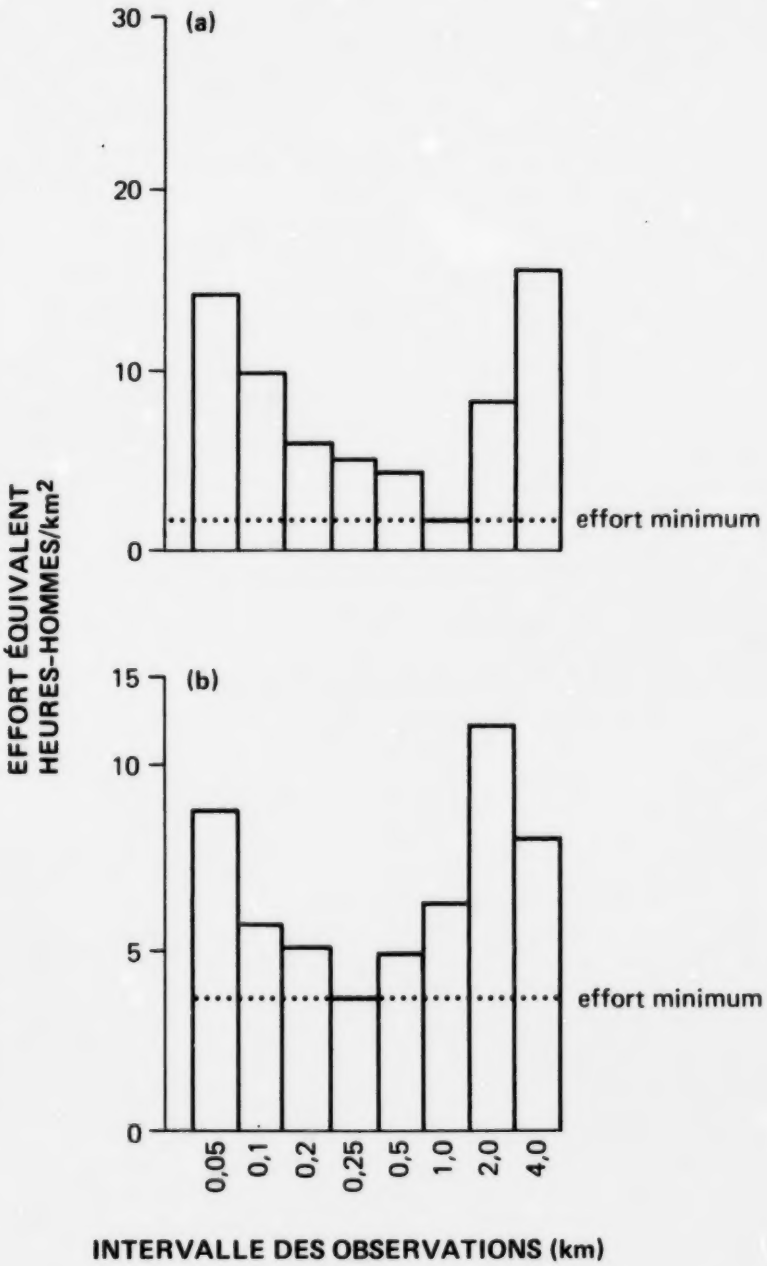

Figure 1. Effort équivalent en heures-hommes par km²:
(a) terre agricole irriguée, terrain presque plat
(b) terre recouverte de forêt, terrain de montagne (d'après Dos Santos, 1978).

5.1 Niveau de probabilité (N.P.)

Le niveau de probabilité exprime la possibilité d'exactitude d'une affirmation. Par exemple, un N.P. de 90% signifie que l'affirmation est exacte 9 fois sur 10. Dans l'équation (3), le N.P. est reflété par la valeur "t". Plus le N.P. est élevé, plus la valeur "t" est élevée (tableau 2) et il faut donc plus de transects pour obtenir un N.P. plus élevé.

5.2 Variabilité du sol

Dans l'équation (3), S^2 représente la complexité et la variabilité d'un sol, de certaines caractéristiques du sol ou des composants de l'unité cartographique. Le plus souvent, un sol ou une unité cartographique complexe présente des valeurs S^2 plus importantes et sa définition exigera plus de transects.

5.3 Intervalle de probabilité (I.P.)

L'I.P. est la gamme estimative d'une moyenne de la population ($\bar{X}$) d'une certaine propriété d'un sol ou d'une unité cartographique. On l'exprime souvent par $\bar{X} \pm tS_{\bar{X}}$, où $S_{\bar{X}}$ l'erreur type. Dans l'équation (3), l'I.P. est représenté par d, qui est l'écart admissible par rapport à la moyenne (fixée de façon arbitraire par le prospecteur ou chercheur) il est égal à $tS_{\bar{X}}$. Par conséquent, plus l'écart admissible (d) est petit, plus les transects doivent être nombreux.

Le nombre d'observations sur chaque transect est un élément important. Lorsqu'on utilise l'équation (3), on suppose 10 observations ou plus par transect (Steers et Hajek, 1979).

6. RÉSUMÉ DES PROCÉDÉS LIÉS À LA MÉTHODE DU TRANSECT

Ici nous verrons quelques résumés modifiés de procédés que l'on emploi actuellement aux États-Unis suivant la méthode du transect.

6.1 Pour élaborer les légendes et faire les levés sur le terrain

La méthode du transect comporte les étapes suivantes (modifiées d'après Hajek, 1977):

6.11 On consacre à l'identification des sols et à l'évaluation du paysage le temps nécessaire pour établir l'essentiel des configurations d'association des sols pour les unités cartographiques. Une fois que les unités cartographiques sont établies, on examine et délimite des zones sur des fiches de terrain. Toutes les délimitations sont examinées dans une certaine mesure, et leurs limites sont vérifiées par l'examen du sol sur place.

6.12 Dans le cadre des levés et études préliminaires (25%) sur le terrain, le pédologue identifie des transects disponibles* qui, à son avis (basé sur les principes de sélection des T.A.S.), sont représentatifs de toutes les délimitations de l'unité cartographique. Ces transects disponibles

*Les transects auxquels le prospecteur peut accéder assez facilement.

Tableau 2 Table de "t" de Student.

Degré de liberté (df=n-1)	valeur de t — niveau de probabilité			
	70%	80%	90%	95%
1	1,963	3,078	6,314	12,706
2	1,386	1,886	2,920	4,303
3	1,250	1,638	2,353	3,182
4	1,190	1,533	2,132	2,776
5	1,156	1,476	2,015	2,571
6	1,134	1,440	1,943	2,447
7	1,119	1,415	1,895	2,365
8	1,108	1,397	1,860	2,306
9	1,100	1,383	1,833	2,262
10	1,093	1,372	1,812	2,228
11	1,088	1,363	1,796	2,201
12	1,083	1,356	1,782	2,179
13	1,079	1,350	1,771	2,160
14	1,076	1,345	1,761	2,145
15	1,074	1,341	1,753	2,131
16	1,071	1,337	1,746	2,120
17	1.069	1,333	1,740	2,110
18	1,067	1,330	1,734	2,101
19	1,066	1,328	1,729	2,093
20	1,064	1,325	1,725	2,086
21	1,063	1,323	1,721	2,080
22	1,061	1,321	1,717	2,074
23	1,060	1,319	1,714	2,069
24	1,059	1,318	1,711	2,064
25	1,058	1,316	1,708	2,060
26	1,058	1,315	1,706	2,056
27	1,057	1,314	1,703	2,052
28	1,056	1,313	1,701	2,048
29	1,055	1,311	1,699	2,045
30	1,055	1,310	1,697	2,042
40	1,050	1,303	1,684	2,021
60	1,046	1,296	1,671	2,000
120	1,041	1,289	1,658	1,980
	1,036	1,282	1,645	1,960

sont repartis de façon egale parmi les delimitations des unites cartographiques dans la zone d'étude; et ce dans le but de définir les zones qui sont représentatives des unités cartographiques en fonction de l'emploi le plus probable du résultat. Ensuite, on examine les transects et on relève les données aux points d'observation.

Chaque délimitation, quelle que soit sa taille, devrait comprendre un potentiel d'au moins 1 transect disponible. En général, on oriente les transects perpendiculairement au patron de distribution du corps étudié, qu'il s'agisse d'une aire de drainage, d'une élévation ou autre. L'important est d'incorporer un maximum de la gamme complète de variation et d'obtenir une représentation typique du paysage pour la zone délimitée.

6.13 Un document est rempli et évalué (par la méthode décrite au paragraphe 6.15) pour chaque transect. Une fois qu'on a couvert une aire suffisante d'une unité cartographique donnée (environ 25% de l'étendue prévue), on peut procéder à une première estimation de l'unité cartographique et on peut formuler ou proposer quelques configurations d'association entre le sol et le relief. Pour vérifier ces configurations, on choisira d'autres transects au cours des levés courants. Le nombre total des transects dans l'échantillonnage initial varie selon l'étendue estimative prévue pour l'unité, le nombre de délimitations, la complexité des configurations du sol et les objectifs du projet de prospection.

6.14 Les transects devraient comprendre 10 à 20 observations. Les intervalles entre les observations varient selon la longueur des transects. (D'autres options ont été exposées plus haut). On enregistre les données en fonction du pourcentage des divers sols entrant dans la composition ou toute autre caractéristique de l'unité cartographique (tableau 3). En général, la première et la dernière observation sur un transect sont situées au milieu de l'intervalle des observations à partir de la ligne de délimitation.

6.15 L'analyse statistique comprend une analyse simple et à sens unique de la variance (Steel et Torrie, 1960), qui permet d'estimer cette dernière et donne les paramètres utiles qui suivent (tableau 4):

a. la moyenne arithmétique pour chaque composant spécifique du sol,
b. le nombre de cheminements (y) nécessaires pour déterminer les composants du sol en rapport avec un niveau de probabilité spécifique (80%)* (au moins 10 observations en moyenne par transect), et
c. l'intervalle de probabilité (d'une moyenne) en rapport avec un niveau de probabilité spécifique (80%).

6.16 Les chefs d'équipe utilisent les données statistiques pour écrire leurs descriptions des unités cartographiques. Ces données servent de base pour planifier l'utilisation des terres et pour faire des interprétations avant d'avoir les résultats de la prospection. Au premier échantillonnage, il se peut que quelques délimitations de certaines unités cartographiques ne présentent pas une composition pédologique régulière. En regardant ces unités cartographiques de près, on verra probablement que certaines délimitations sont tracées trop largement pour répondre à la définition originale de l'unité

*On peut fixer le niveau de probabilité à n'importe quelle valeur désirée (voir le tableau 2).

Tableau 3 Pourcentage de divers sols observés dans les transects de l'unité cartographique Eustis-Troup (données d'après Hajek, 1977).

Séries de sol	Transects															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑ X
Eustis	37	25	29	37		13	13	8			8	25	9	36		240
Dorovan	9	8			7		6				21	16				67
Esto	18	17	14	10	28	13	13	15	45	18	35		17		17	260
Osier	9	8	7	9	7	8	6	8				25	8	19		114
Troup	18	25	36		43	33	31		19	8	14	17		36	34	314
Bibb	9		7	9				8	9	8	8		17		8	83
Norfolk		17	7	18	15	33	31	61	27	58	14	17	41	9	41	389
Goldsboro				18						8			8			34

*Pourcentage d'un certain type de sol dans un transect.

Tableau 4 Analyse statistique d'une unité cartographique Eustis-Troup.

	Eustis	Dorovan	Esto	Osier	Troup	Bibb	Norfolk	Goldsboro
$\sum X$	240	67	260	114	314	83	389	34
$\overline{X} = \frac{\sum X}{n}$ (%)	16,0	4,5	17,3	7,6	20,9	5,5	25,9	2,2
$\sum (X^2)$	6672	927	6408	1538	9506	837	14679	452
$(\sum X)^2$	57600	4489	67600	12996	98596	7744	151321	1156
$\sum (X - \overline{X})^2 = \sum (X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}$	2832	627	1901	672	2933	378	4591	3752
$s^2 = \frac{\sum (X - \overline{X})^2}{n - 1}$	202	45	136	48	210	27	328	27
$s^2_{\overline{X}} = \frac{s^2}{n}$	13,5	3,00	9,0	3,2	14,0	1,8	21,9	1,8
$s_{\overline{X}}$	3,67	1,73	3,00	1,79	3,74	1,34	4,68	1,34
t $s_{\overline{X}}$ au niveau de probabilité 80%	4,9	2,3	4,0	2,4	5,0	1,8	6,3	1,8
Intervalle de probabilité A (%) $\overline{X} \pm ts_{\overline{X}}$	11,1-20,9	2,2-6,8	13,3-21,3	5,2-10,0	15,9-25,9	3,7-7,3	19,6-32,2	0,4-4,0
Intervalle de probabilité B (%) $\overline{X} \pm \overline{X}$ (0,3)	11,2-20,8	3,1-5,9	12,1-22,5	5,3-9,9	14,6-27,2	3,8-7,2	18,1-33,7	1,5-2,9
Nombre de transects exigés pour l'intervalle de probabilité B $y = \frac{t^2 s^2}{d^2}$	15	44	9	16	10	17	10	112

Où:

$\overline{X}$ = le pourcentage moyen d'un certain sol trouvé dans une unité cartographique
n = le nombre de transects observés; en l'occurence, n = 15
s^2 = la variance calculée
$s_{\overline{X}}$ = l'erreur type
t = voir le tableau 1. En l'occurrence, pour un niveau de probabilité de 80% et de df = 14, t = 1,345.
y = le nombre de transects nécessaires pour un niveau de probabilité spécifique et un intervalle de probabilité spécifique
d = l'écart admissible par rapport à la moyenne ($\overline{X}$) = $ts_{\overline{X}}$

cartographique. S'il en est ainsi, il convient de refaire l'étude des délimitations douteuses et d'élaborer une unité cartographique supplémentaire en l'évaluant par les mêmes procédés du transect aléatoire stratifié. Les irrégularités de ce genre se révèlent souvent avant l'analyse statistique, au moment où les transects sont achevés.

6.2 Pour parfaire les unités cartographiques des sols et établir la corrélation des sols

Après avoir terminé 80 à 100% des travaux cartographiques sur le terrain, on refait un sondage aléatoire stratifié. Le nombre de transects nécessaires (taille de l'échantillonnage) est déterminé en tenant compte des données du premier sondage. Pour définir le nombre de transects pour l'échantillonnage final, on prend des valeurs "y" qui donnent les transects nécessaires pour caractériser environ 80% des sols rencontrés. Les populations du sondage aléatoire final comprennent l'ensemble de la population des transects disponibles, et chacun d'entre eux a la même chance d'être sélectionné. Ces données sont analysées de la même manière que l'échantillonnage initial, puis elles sont résumées, enregistrées et employées pour la préparation du manuscrit du mémoire pédologique.

Les tableaux 1, 3 et 4 montrent la fiche d'enregistrement des données sur place, le résumé des données, ainsi qu'une fiche de travail statistique concernant une unité cartographique Eustis-Troup en Alabama. Le nombre de transects nécessaires pour définir cette unité complexe dans l'intervalle de probabilité A (tableau 4) était basé sur la valeur "y" la plus élevée (15), calculée dans la série qui constitue 80% de l'unité cartographique, c'est-à-dire les sols Eustis, Esto, Troup et Norfolk. Bien que les quatre sols principaux s'écartent de moins de 30% de la moyenne (c.-à-d. $\bar{x} \pm \bar{x}d$, où $\leq 0,3$), les sols moins importants présentent des écarts bien au-delà de 30% de la moyenne (intervalle A au tableau 4). Pour éviter que d ne dérive de plus de 30% par rapport à la moyenne de tous les sols de l'unité cartographique Eustis-Troup (intervalle de confiance B), certains sols mineurs exigeraient un grand nombre de transects pour définir la proportion de leur présence, notamment 44 et 112 transects respectivement pour les sols Dorovan, et Goldsboro. De toute évidence, cela ne serait ni réaliste, ni utile, et il suffit le plus souvent d'indiquer que les sols mineurs (ou inclusions) représentent moins de 5% ou de 10% de l'ensemble. Seuls quelques transects seront nécessaires pour les définir.

Pour les unités cartographiques moins complexes de cette région d'étude en Alabama, le calcul de la valeur "y" s'est trouvé presque toujours à moins de 10, et le plus souvent à moins de 5, lorsque 25% des levés étaient terminés. Ces valeurs étaient confirmées lorsque 95% des travaux cartographiques sur la région étaient terminés.

6.3 Pour l'interprétation pédologique

On trouve souvent la clé de l'interprétation dans certaines propriétés des unités cartographiques. La conductivité hydraulique, par exemple, est la clé de l'interprétation pour les fosses septiques; la texture du sol, les conditions climatiques et le drainage le sont pour les effets du gel; la pente et la texture pour l'érosion, etc. Chaque propriété du sol d'une unité cartographique observée au cours de la prospection, ainsi que les données analytiques mesurées sur place ou dans le laboratoire, sont susceptibles d'être analysées en faisant appel aux méthodes statistiques modernes et d'être exprimées sous une forme quantitative.

6.4 La méthode graphique d'Arnold

Pour répondre aux besoins de la corrélation des sols et de la vérification de l'exactitude des cartes, Arnold (1979) a introduit la méthode graphique de la limite de probabilité binomiale (fig. 2 et 3), méthode à la fois simple et efficace. On utilise des transects alétoires sélectionnés par des méthodes assimilables à celles décrites plus haut.

6.41 L'emploi du niveau de probabilité

Pour établir des expressions de probabilité, il existe des compromis à évaluer. Pour tout ensemble d'observations, on peut varier les risques d'erreur (niveau de probabilité) ou on peut varier les limites de la précision (degré d'exactitude). On doit toujours transiger.

Pour les besoins de l'illustration, les diagrammes ici ne représentent qu'un seul niveau de probabilité: un risque d'erreur sur dix (niveau de probabilité de 90%). Pour chaque niveau de probabilité, il existe deux diagrammes: la figure 2 donne les limites de probabilité pour 0 à 50 échantillons, et la figure 3 pour 50 à 350 échantillons. On dispose donc d'une certaine souplesse pour choisir l'importance de l'échantillonnage.

Une limite inférieure (ou précision minimale) permet au prospecteur de faire une constatation au moins. Une limite supérieure (ou précision maximale) lui permet de faire une constatation au plus.

Supposons que le prospecteur termine quatre transects composés de 13, 9, 7 et 11 points d'observation, ce qui fait un total de 40. Parmi ces 40 observations, 30 seulement appartiennent à la même classe. La précision maximale prévue est calculée à environ 83%, et la précision minimale à environ 62%. Le prospecteur estime donc que l'unité cartographique contient entre 62 et 83% du composant principal, compte tenu des observations et d'un risque d'erreur sur 10.

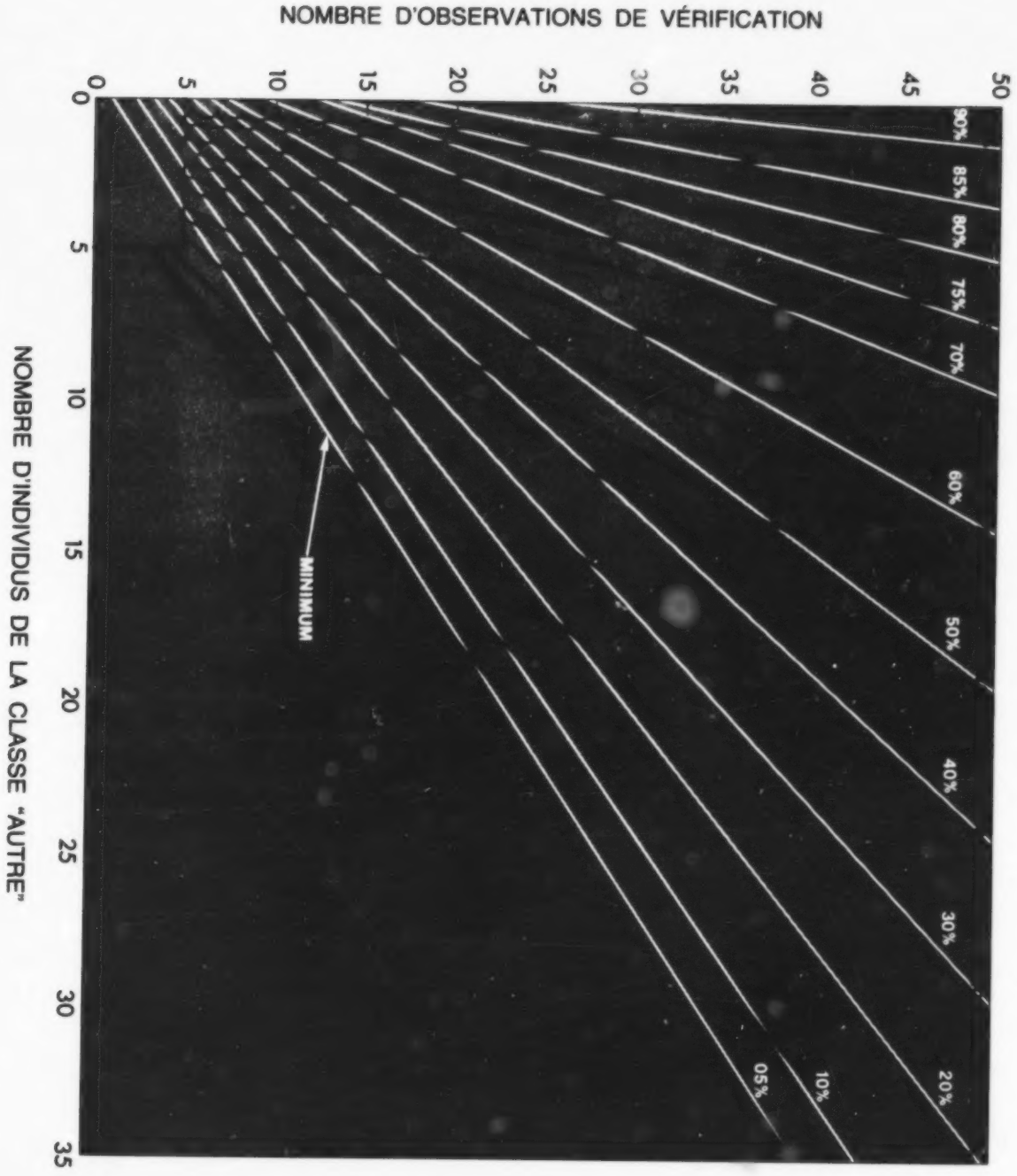

Figure 2. Diagramme de la limite de probabilité binomiale d'Arnold pour 0 à 50 échantillons.

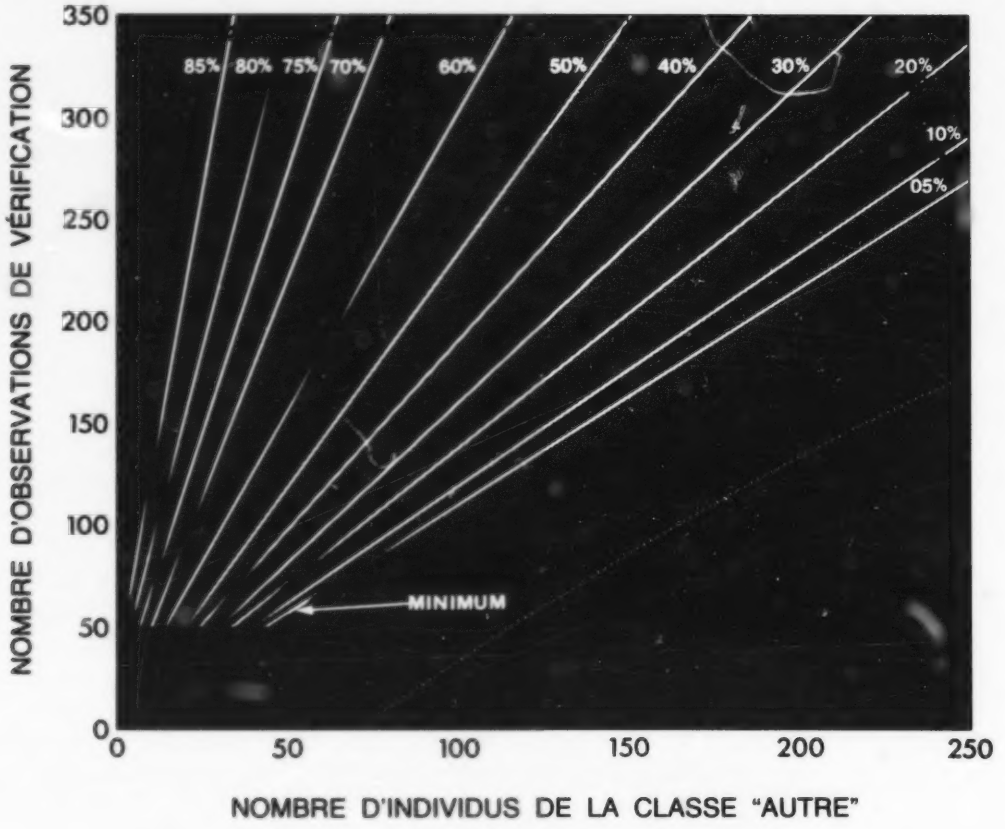

Figure 3. Diagramme de la limite de probabilité binomiale d'Arnold pour 50 à 350 échantillons.

6.42 Combien d'échantillons?

Le nombre minimum d'observations à faire est fonction des risques d'erreur (niveau de probabilité) et du niveau de précision (degré d'exactitude) désirés.

On peut se servir des courbes de limite inférieure de probabilité pour estimer le nombre d'échantillons nécessaires. Si l'on fixe la probabilité à 90% et on veut que les estimations soient exactes dans au moins 80% des cas lorsqu'on applique les résultats de l'échantillon au reste de l'unité cartographique, alors on utilise la figure 2 de la manière suivante.

On retrace la courbe des 80% correspondant au niveau minimum de précision de la classification jusqu'à l'axe des Y, où il n'y a nul individu des classes "autres", et on y lit 14. Cela signifie qu'il y aura 14 observations aléatoires, chacune appartenant à la même classe (14 sur 14). Par contre, si on trouve trois observations qui appartiennent à d'autres classes, alors on part du chiffre 3 sur l'axe des X pour remonter à la verticale jusqu'au point où on recoupe la courbe de précision de 80%, puis on retourne à l'horizontale jusqu'à l'axe des Y où on voit 34 observations. Cela signifie que, avec 31 observations de la même classe sur les 34 effectuées, on peut s'attendre à une précision de 80% pour le composant principal.

On peut aussi aborder le nombre d'échantillons de la manière suivante: pour un niveau de précision de 80%, 200 observations ne doivent pas en comporter plus de 27 qui font partie des classes "autres".

Les courbes correspondant aux limites de probabilité supérieures ne peuvent pas entrer dans l'estimation des nombres d'échantillons. En regardant l'une des courbes de limite supérieure, on voit que la ligne ne revient pas à l'axe des Y au-dessus de zéro; on ignore ce qui constitue un échantillon négatif.

7. QUELQUES EXEMPLES LOCAUX

Un exemple en provenance de l'Alabama (tableaux 3 et 4) nous a montré comment on peut utiliser la méthode du transect pour définir une unité cartographique très complexe. L'exemple de l'Alabama présenté aux paragraphes 6.15 et 6.2.

Nous présentons ici trois autres exemples locaux (un de l'Ontario et deux du Québec) afin d'illustrer certaines autres fonctions de la méthode du transect dans la conduite de la prospection pédologique.

7.1 Quantification de certaines propriétés physiques et chimiques d'une unité cartographique

7.11 Situation

On a étudié une unité cartographique ayant un sol relativement uniforme, celle du Dalhousie (D/4.1), sur la carte pédologique des cantons de Gloucester et Nepean près d'Ottawa (Marshall et al, 1979). Le Dalhousie s'est développé sur une argile maritime à topographie presque plate. Toutes les délimitations de l'unité cartographique du Dalhousie étudiée ici font l'objet d'exploitations agricoles.

7.12 But

Établir une définition quantitative de certaines propriétés sélectionnées du sol de l'unité cartographique de Dalhousie et déterminer s'il existe une différence significative entre les petites et les grandes délimitations.

7.13 Méthode

Toutes les délimitations de l'unité cartographique du Dalhousie ont été numérotées sur la carte. Les délimitations numérotées ont été divisées ensuite en deux groupes : dans l'un, toutes celles qui dépassent 50 hectares; dans l'autre, toutes celles de moins de 50 hectares.

Étant donné que la composition et le relief de l'argile maritime sont relativement uniformes, nous avons choisi seulement cinq délimitations au hasard dans chaque groupe. Ensuite, nous avons tracé un transect au hasard en faisant tourner un crayon sur chacune des délimitations choisies (le transect étant situé à peu près au milieu de la délimitation). Sur chaque transect, on a examiné un total de 10 points d'observation espacés à un intervalle de un dixième de la longueur du transect. À chaque point d'observation, on a fait une brève description du sol et pris deux échantillons: un échantillon de surface à une profondeur de 0 à 15 cm (Ap) et un échantillon du sous-sol à une profondeur de 50 à 60 (CBg). Les échantillons ont été séchés à l'air, tamisés (tamis de 2 mm) et analysés en vue de déterminer plusieurs propriétés choisies.

7.14 Résultats et discussion

Les tableaux 5, 6 et 7 présentent une sélection de résultats. Les méthodes de calcul des moyennes (x), de l'écart type (S) et de l'écart des moyennes (Sx) figurent au tableau 4. L'équation qui permet de calculer l'écart d'ensemble (Sp) est la même que celle pour l'écart type (S) de chaque transect, excepté que le nombre d'échantillons (n) est de 100 plutôt que 10 (étant donné le rassemblement de tous les échantillons de 10 transects). Les résultats principaux sont les suivants.

1) Étant donné que les échantillons représentaient aussi bien des données de laboratoire choisies au hasard (tableaux 5 et 6) que des données relevées sur le terrain (tableau 7), on peut les traiter de façon statistique.
2) La gamme réelle des propriétés du sol quantifiées par la méthode du transect aléatoire est plus large que celle estimée intuitivement selon la méthode du concept central ou du profil modal.
3) Il n'existe aucune différence entre les petites et les grandes délimitations en ce qui concerne les propriétés examinées dans cette unité cartographique.
4) Si on considère qu'une grande unité cartographique possède une gamme trop large de certaines caractéristiques, la méthode du transect permet de détecter ce problème avant que le travail cartographique soit trop avancé.
5) Les méthodes statistiques décrites ici peuvent servir à quantifier les propriétés du sol seulement dans les cas où les propriétés ont une distribution normale des fréquences (c.-à-d. % d'argile et % de carbone organique dans la fig. 4). Quant aux propriétés n'ayant pas une distribution normale (c.-à-d. calcium d'échange et pH dans la fig. 4), il convient de consulter un statisticien pour que les données soient transformées en une distribution normale avant l'analyse finale.

Tableau 5 Pourcentage de carbone organique dans l'horizon A.

N° de transect	$\bar{x}$ (moyenne)	S (écart type)
T1	2,03	0,76
T2	2,45	0,65
T3	1,71	0,25
T4	3,07	0,94
T5	3,58	0,73
T6	2,29	0,56
T7	3,08	2,19
T8	2,67	0,47
T9	2,09	0,63
T10	2,83	0,55

Moyenne ($\bar{\bar{x}}$) de 10 transects	Écart des moyennes ($S_{\bar{x}}$)	Écart d'ensemble (Sp) (100 éch.)
2,58	0,54	0,90

Au niveau de probabilité de 80%:

1. Pourcentage moyen de carbone organique pour un transect choisi au hasard

   $= \bar{\bar{x}} \pm S_{\bar{x}} t$

   $2,58 \pm 0,54 \times 1,38$

   soit entre 1,83 et 3,32 (%)

2. Gamme de pourcentage de carbone organique pour un échantillon choisi au hasard

   $= \bar{\bar{x}} \pm Spt$

   $= 2,58 \pm 0,9 \times 1,38$

   soit entre 1,34 et 3,82 (%)

Tableau 6 Pourcentage argile dans le sous-sol de (50 à 60 cm).

N° de transect	$\bar{x}$ (moyenne)	S (écart type)
T1	34,0	4,9
T2	36,8	7,5
T3	42,7	8,5
T4	40,1	6,6
T5	25,6	5,0
T6	47,1	5,3
T7	49,0	3,4
T8	34,1	6,1
T9	31,8	9,6
T10	35,4	4,6

Moyenne ($\bar{x}$) de 10 transects	Écart des moyennes ($S_{\bar{x}}$)	Écart d'ensemble (Sp) (100 échant.)
37,7	6,8	6,8

Au niveau de probabilité de 80%

1. Pourcentage moyen d'argile pour un transect choisi au hasard

   $= \bar{x} \pm S_{\bar{x}} t$

   $= 37,7 \pm 6,8 \times 1,38$

   soit entre 28,3 et 47,1 (%)

2. Gamme de pourcentage d'argile pour un échantillon choisi au hasard

   $= \bar{x} \pm Spt$

   $= 37,7 \quad 6,8 \quad \times 1,38$

   soit entre 28,3 et 47,1 (%)

Tableau 7 Couleur du sol (valeur).

No de transect	$\bar{x}$ (moyenne)	S (écart type)
T1	4,0	0,447
T2	3,5	0,415
T3	3,4	0,436
T4	3,4	0,450
T5	3,0	0,000
T6	3,9	0,391
T7	3,9	0,320
T8	2,8	0,403
T9	3,1	0,150
T10	3,1	0,350

Moyenne ($\bar{x}$) de 10 transects	Écart des moyennes ($S_{\bar{x}}$)
3,4	0,396

Au niveau de probabilité de 80%.

Gamme de valeurs = $\bar{x} \pm S_{\bar{x}} t$

$3,4 \pm 0,396 \times 1,38$

soit une gamme de 3 à 4.

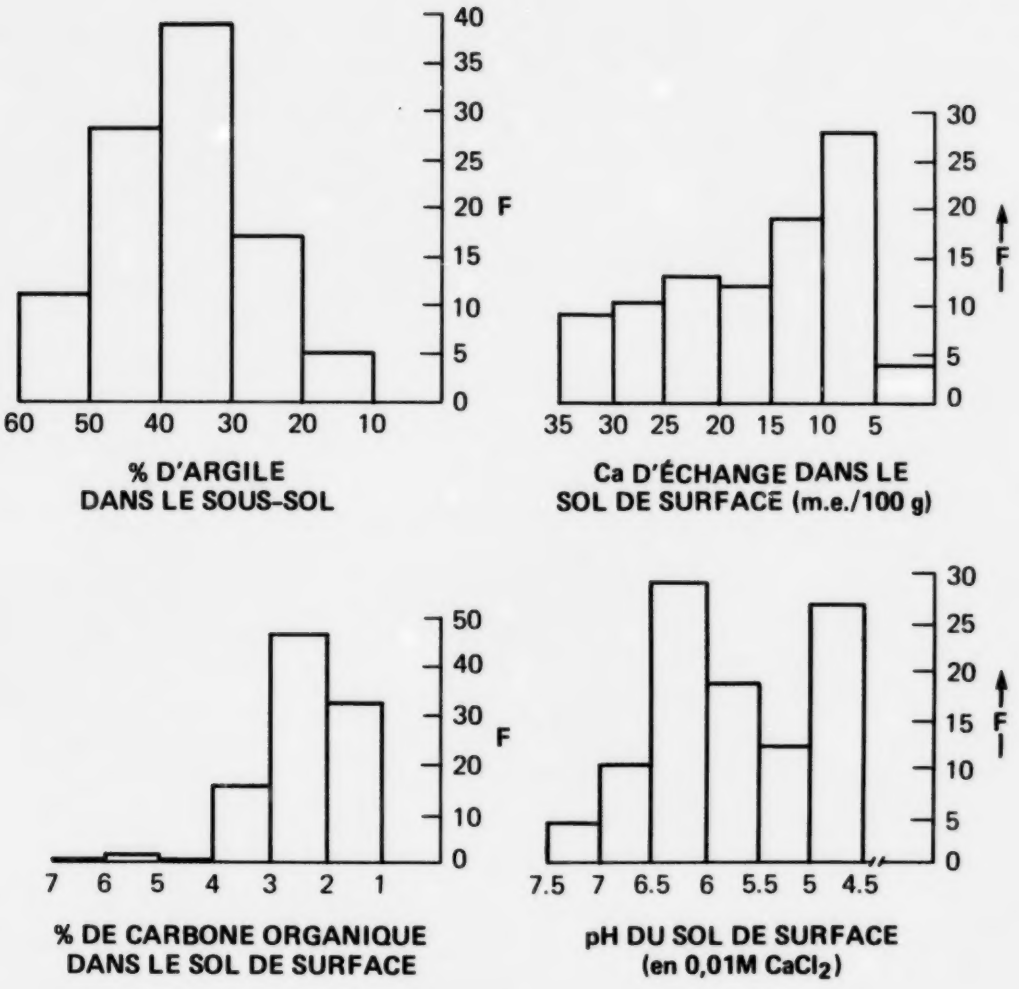

Figure 4. Distribution des fréquences pour quelques propriétés sélectionnées du sol de l'unité cartographique du Dalhousie.

7.15 L'emploi de la stratification pour quantifier une unité cartographique

Dans l'exemple du Dalhousie, l'unité cartographique est essentiellement celle d'une série unique associée à un paysage à peu près plat. C'est un cas où on peut traiter les caractéristiques du sol de chaque délimitation dans l'unité cartographique comme un ensemble statistiquement uniforme. En outre, les propriétés du sol telles que les moyennes de la teneur en argile et en carbone organique pour chaque transect constituent la moyenne de tous les points d'observation du transect.

Cependant, la plupart des unités cartographiques renferment plus d'un seul type de sol et leur paysage est plus compliqué que celui de l'unité cartographique du Dalhousie. Étant donné la présence de plusieurs sols dans une délimitation, il n'est pas possible de traiter la plupart des unités cartographiques comme des entités statistiquement uniformes. Il arrive souvent que la moyenne d'une certaine propriété calculée sur l'ensemble de points d'observation d'un transect soit dépourvue de toute signification. Pour en obtenir des informations significatives, on doit employer la stratification pour quantifier la plupart des unités cartographiques. Par exemple, une unité cartographique située dans la plaine côtière sableuse et ondulée du Nouveau-Brunswick se caractérise souvent par des dépôts argileux associés à des dépressions localisées, et ces dépôts argileux sont trop petits pour être délimités sur une carte à l'échelle de 1/50 000. Supposons un transect où nous avons observé huit points sableux et deux points argileux. Si nous traitions cette unité cartographique comme une entité uniforme, la moyenne globale de texture du sol pour ce transect pourrait être limoneuse, ce qui serait, de toute évidence, faux, puisqu'on ne trouve une texture limoneuse à aucun endroit dans cette délimitation. On voit donc l'intérêt de stratifier le sol et le relief à l'intérieur d'une délimitation cartographique. Dans ce cas du Nouveau-Brunswick, les sols sableux et argileux, et les formes de relief qui les accompagnent devraient être stratifiés à l'intérieur d'une délimitation cartographique pour les faire ressortir comme deux entités distinctes.

7.2 Établissement des unités cartographiques pour une terrasse deltaique au Québec

7.21 Situation

Une terrasse deltaique s'étendant sur une longueur de plusieurs kilomètres et une largeur d'un ou deux kilomètres est située dans la grande plaine deltaique d'une communauté agricole près de Sorel (Québec). La terre du talus de part et d'autre de la terrasse (unité cartographique C à la fig. 5) a été défrichée, mais le plateau lui-même est largement boisé (unités cartographiques A et B).

Les unités cartographiques A et B ont été distinguées principalement par des nuances dans la configuration végétale sur les photographies aériennes, tandis que l'unité C est basée sur la position topographique.

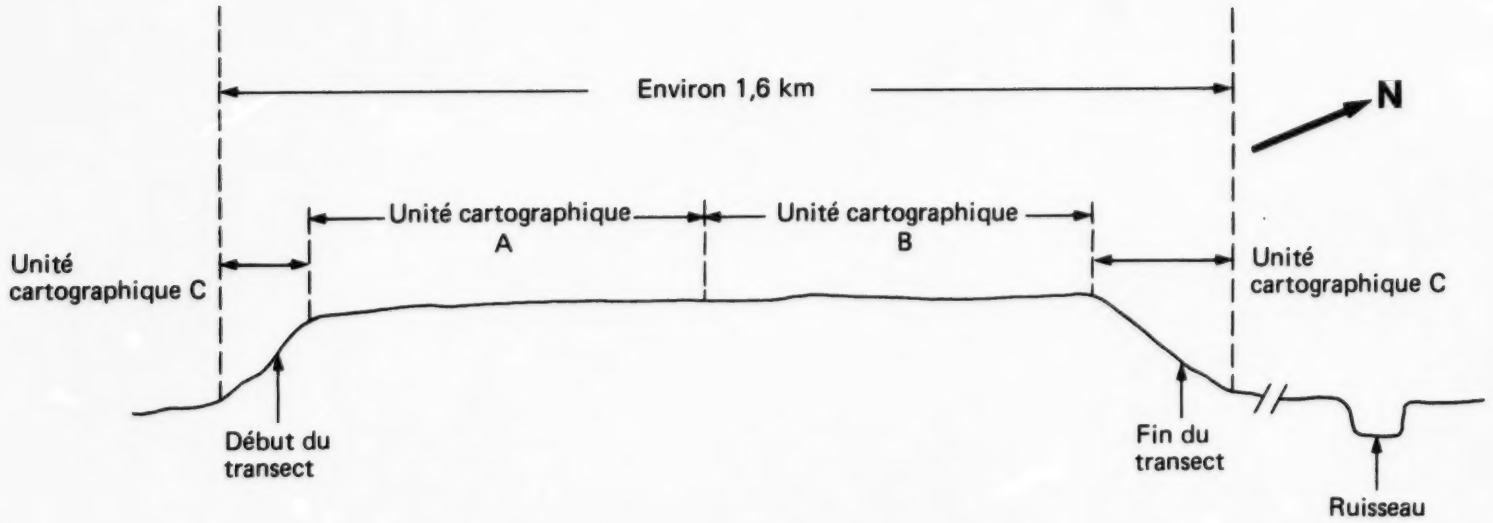

Figure 5. Dessin du transect traversant la terrasse deltaïque au Québec.

Pour cette région en général, le niveau d'intensité de la prospection pédologique (SIL) se situe à SIL2. Mais en raison du manque d'accessibilité aux zones boisées, on applique la cote SIL3 au plateau de la terrasse. Malgré la difficulté d'accès à la partie boisée, il existe quelques chemins traversant la terrasse deltaique à des intervalles d'environ 2 km.

7.22 Questions

L'étendue des trois unités cartographiques délimitées à partir des photos aériennes est-elle réaliste? Les configurations topographiques et végétales constituent-elles de bons indicateurs pour la définition des unités cartographiques?

7.23 Méthode

Puisqu'il n'y a aucune raison de croire que les chemins traversant la terrasse ne seraient pas représentatifs, on peut se permettre de les considérer tous comme des transects aléatoires stratifiés (T.A.S.) possibles et disponibles. Pour cette étude préliminaire, on a choisi un seul chemin au hasard (fig. 5). Ce transect a une longueur de 1,6 km et un intervalle d'observation fixé arbitrairement à 100 m. Afin d'éviter toute influence éventuelle du chemin lui-même, on a situé chaque point d'observation à une distance de 10 m à l'ouest du chemin. Des propriétés pertinentes du sol ont été enregistrées pour chaque point d'observation (exemples au tableau 8). On a fait un total de 15 observations sur le transect dans l'espace d'environ trois heures.

7.24 Résultats

Le tableau 9 récapitule certaines caractéristiques des trois unités cartographiques. Les unités cartographiques A et B étaient dominées toutes les deux par des podzols orthiques et humiques, tandis que l'unité C se composait surtout d'un podzol humoferrique gleyifié.

7.25 Discussion

Entre les unités cartographiques A et B, les différences sont considérées comme minimes, présentant peu de contraste pour les besoins de la plupart des utilisations des terres. Ces sols ont la même texture et le même drainage. Pour une prospection cotée à SIL3, les unités cartographiques A et B devraient donc être fusionnées en une seule unité, et les configurations végétales de la photographie aérienne qui a servi de base pour la séparation des unités A et B ne devraient pas être prises en considération pour l'identification des unités cartographiques. Dans l'unité C, la gamme des variations est étroite et toutes les observations montrent le même sol (tableau 9.).

Ainsi, cette étude préliminaire fait ressortir deux unités cartographiques distinctes: l'une associée aux talus de la terrasse, l'autre associée au plateau.

Tableau 8 Fiche de données sur la terrasse deltaique au Québec.

Position		Unité cartographique	
Sorel (Québec)			
Transect n°	Intervalle des observations		Longueur (m)
81-001	100 m		1,5 km
Date	Photo	Par	
81-6-17		C. Wang et al.	

Remarques

Profil n° 1

Pente (%) 7% | Exposition S

Position sur pente près du haut du talus

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres
Ap	0-20			LfS			
Bf	20-35	10YR4/6		LfS			
Bfj	35-55			LfS			
C + Cg	55-100			S			

Notes supplémentaires* Taches bien définies à 75 cm

Classification Podzol H-F gleyifié | Séries

Profil n° 2

Pente (%) horizontale | Exposition

Position sur pente

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres
LFH	10-0						
Aeh	0-20	10YR4/2		Lfs			
Bh	20-30	5YR3/2		Lfs			
Bfig	30-50			Lfs			
Cg	50+			S-Ls			

Notes supplémentaires*

Classification Podzol orthique et humique | Séries

*Si un échantillon est pris pour les besoins de l'analyse, cocher (X) l'horizon où l'échantillon a été prélevé et inscrire le n° de l'échantillon dans les "Notes supplémentaires".

Tableau 9 Sommaire de certaines caractéristiques du sol d'un transect tracé sur une terrasse deltaique au Québec.

Étendue de l'unité cartographique A (6 observations)

Épaisseur en cm				Profondeur jusqu'à	Texture		Classification
Ae	Bh	Bfg	Solum	Taches prononcées	Surface	Sous-sol	
5-20	3-30	0-30	35-70	10-50 cm	Lfs	Lfs-s	4 POH 1 PHF GL. 1 PHF GL. à PHF OT

Remarque: Quatre avaient l'horizon Bh 10 cm.
Deux avaient l'horizon Bfg 10 cm.

Étendue de l'unité cartographique B (6 observations)

Épaisseur en cm				Profondeur jusqu'à	Texture		Classification
Ae	Bh	Bg	Solum	Taches prononcées	Surface	Sous-sol	
0-15	0-17	0-13	25-60	0-45 cm	Lfs	Lfs-s	4 POH 1 POH à PHF GL 1 GOH

Remarque: Quatre avaient l'horizon Bh 10 cm.
Une avait l'horizon Bfg 10 cm.
Trois avaient l'horizon Ap
Une avait l'horizon Bg 10 cm.

Étendue de l'unité cartographique C (3 observations)

Épaisseur en cm			Profondeur jusqu'à	Texture		Classification
Ap	Bf	Solum	Taches prononcées	Surface	Sous-sol	
20-28	12-20	55-60	60-81	fsL	Lfs	PFH GL

Ce transect préliminaire a également montré que les variations étaient minimes à l'intérieur de chaque unité cartographique. Il suffit donc de quelques transects seulement (3 à 5) pour bien caractériser les unités cartographiques associées à la terrasse deltaique dans cette région.

7.3 Établissement des cartes et définition des unités cartographiques pour une zone agricole plate au Québec

7.31 Situation

On prévoit un projet de prospection coté à SIL2 pour une vaste plaine maritime recouverte de divers matériaux fluvio-glaciaires et située près de Sainte-Victoire (Québec). C'est une région à prédominance agricole qui ne possède pratiquement aucun relief. La majeure partie de la région est drainée au moyen de tuyaux, et on dispose d'une carte pédologique (SIL3) qui remonte à 40 ans. Sur l'ancienne carte, la plupart des délimitations des sols correspondent à des complexes de séries pédologiques. Trois séries de sols dominaient:

Saint-Aimé	horizon B limoneux reposant sur C argileux
Kierkosky	horizon B à limon argileux sur C argileux
Aston	horizon B sableux sur C argileux.

7.32 Questions

La méthode du transect peut-elle être utile pour définir les unités cartographiques lorsqu'il n'y a pas de configuration sol-relief ou sol-végétation apparente? Quelle est la meilleure façon d'aborder la cartographie d'une région comme celle-ci?

7.33 Méthode

On a choisi un transect au hasard, puis un intervalle d'observation a été fixé arbitrairement à 150 m. À chaque point d'observation, on a pris la profondeur, la couleur et la texture des horizons Ap, B et C, ainsi que la profondeur d'une couche calcaire (exemples au tableau 10). En tout, 19 points d'observation ont été couverts sur ce transect dans l'espace d'environ 4 heures.

7.34 Résultats

Aux 19 points d'observation, on a rencontré systématiquement un gleysol orthique et humique. Les couleurs des horizons Ap, Bg et Ck sont très semblables dans tous les cas. Pour l'ensemble du transect, la texture de surface (Ap) variait entre SL et L, l'épaisseur de l'horizon Ap entre 20 et 28 cm et la profondeur de la couche calcaire (Ck) entre 50 et 100 cm, mais entre 55 et 80 cm à 15 des 19 points d'observation. Dans tous les cas sauf un, l'horizon Ck avait une texture variant entre SiCL et SiC; deux horizons Bg avaient des couches de sable de plus de 10 cm d'épaisseur, deux autres horizons Bg avaient une texture argileuse et les 15 horizons Bg restants avaient une texture silteuse (surtout du limon fin).

Tableau 10 Fiche de données sur la région de Sainte-Victoire au Québec.

Position	Unité cartographique
Sainte-Victoire (Québec)	

Transect n°	Intervalle des observations	Longueur (m)
81-002	150 m	2.8 km

Date	Photo	Par
81-6-18		C. Wang et al.

Remarques

Profil n° 1

Pente (%) horizontale | Exposition

Position sur pente

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres
Ap	0-22	10YR3/2		SL			
Bg	22-53	10YR5/2		SiL-CL			
IICKg	53+	10YR4/2		CL-SiC			

Notes supplémentaires* Lentilles de limon au Bg

Classification Gleysol orthique et humique | Séries Saint-Aimé

Profil n° 2

Pente (%) | Exposition

Position sur pente

Horizon	Profondeur (cm)	Couleur	Taches	Texture	Structure	Consistance	Autres
Ap	0-23	10YR3/2		SL			
IIBg	23-75	10YR5/2		CL-SiCL			
IIICKg	75+	10YR4/2		SiC			

Notes supplémentaires*

Classification GOH | Séries Kierkosky

*Si un échantillon est pris pour les besoins de l'analyse, cocher (X) l'horizon où l'échantillon a été prélevé et inscrire le n° de l'échantillon dans les "Notes supplémentaires".

7.35 Discussion

La texture de surface étant relativement uniforme, une phase de texture superficielle ne sera peut-être pas nécessaire. La couleur et la texture des horizons C ne constituent pas de bons critères pour la différenciation des sols (ou des unités cartographiques) parce qu'elles se ressemblent de très près à tous les points d'observation. Même la profondeur jusqu'à la couche calcaire a présenté une fourchette de variation relativement serrée.

Les différences principales concernaient la texture de l'horizon Bg. On peut considérer que l'ensemble du transect est dominé par le Saint-Aimé (Bg limoneux fin), avec des inclusions de Kierkosky (Bg argileux) et d'Aston (Bg sableux). Cependant, l'Aston possède une couche de sable légèrement contrastante, de 10 cm ou plus, dans les 50 cm supérieurs. Cette couche peut avoir une influence non négligeable sur l'action du sol pour certaines utilisations agricoles. Pour une prospection d'intensité SIL2, on devrait donc s'efforcer de délimiter l'Aston par rapport aux autres sols. Si on prenait le Kierkosky comme une inclusion dans le Saint-Aimé, l'interprétation pour les besoins agricoles ne serait pas beaucoup affectée, car le Bg du Kierkosky n'est que légèrement plus argileux que celui du Saint-Aimé.

Par conséquent, si on trouvait des résultats semblables sur quelques transects de plus, on recommanderait l'emploi d'une grille de 150 m pour établir la carte de cette région. Dans la plupart des cas, une observation sur 50 cm suffirait, avec une inspection jusqu'à 100 cm tous les cinq trous pour assurer l'uniformité du matériau du sous-sol. L'aspect critique est la texture de l'horizon Bg, et on doit tenter de délimiter l'Aston par rapport aux autres sols.

D'après les exemples traités dans ce document, on voit que la méthode du transect s'applique à une diversité de phases dans les opérations de prospection pédologique, ainsi qu'à la solution de divers problèmes qu'on y rencontre. En outre, certains exemples ont montré que l'application de la méthode du transect peut exiger des moyens d'analyse et de compilation statistiques (ceux de l'Ontario et de l'Alabama), tandis que d'autres (les deux exemples du Québec) présentent des problèmes que les prospecteurs peuvent résoudre en faisant preuve de bon sens.

Ce document n'est que la première ébauche d'un rapport sur l'application de la méthode du transect aux problèmes de la prospection pédologique. L'auteur serait très heureux de recevoir des commentaires, ainsi que des exemples d'applications de la méthode du transect qui pourraient être insérés au cours des révisions futures.

BIBLIOGRAPHIE

Amos, D.F. et Whiteside, E.P., Mapping accuracy of a contemporary soil survey in an urbanizing area (Précision cartographique d'une opération de prospection pédologique dans une zone en voie d'urbanisation), Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1975, 39:937-942.

Arnold, R.W., Strategies for field resource inventories (Stratégies d'inventaire des ressources extérieures), Agronomy Mimeo 79-20, Département d'agronomie, université Cornell, Ithaca (N.Y.), 1979, 14853

Comité canadien de la prospection pédologique, Le système canadien de classification des sols, Agriculture Canada, publication n° 1646, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa (Ont.) 1978, 164 pp.

Dos Santos, H.G., Some strategies of quality control for reconnaissance soil survey (Quelques stratégies de contrôle de la qualité pour la prospection de reconnaissance des sols), thèse M.Sc. inédite, université Cornell, Ithaca (N.Y.), 1978, 128 p.

Hajek, B.F., Evaluation of map unit composition by the random transect method (Évaluation de la composition des unités cartographiques par la méthode du transect aléatoire), Agronomy Mimeo n° 77-23, Département d'agronomie, université Cornell, Ithaca (N.Y.), 1977, 14852

Johnson, W.M., Transect methods for determination of composition of soil mapping units (Méthodes faisant appel aux transects pour déterminer la composition des unités cartographiques des sols), Soil Survey Technical Notes, SCS/USDA, 1961.

Groupe de travail sur les systèmes cartographiques, Un système de cartographie des sols pour le Canada: révisé, Institut de recherches sur les terres, Contribution n° 142, Agriculture Canada, Ottawa, 1981, 94 pp.

Marshall, I.B., Dumanski, J., Huffman, E.C. et Lajoie, P.G., Soils, capability and land use in the Ottawa urban fringe (Sols, capacité et utilisation des terres aux limites de l'urbanisation à Ottawa), Institut de recherches sur les terres, Direction de la recherche, Agriculture Canada, 1979.

Soil Survey Staff, Soil taxonomy (Taxinomie des sols), U.S. Dep. Agric., publication n° 436, U.S. Government Printing Office, Washington (D.C.), 1975, 754 pp.

Steel, R.G.D. et Torrie, J.H., Principles and procedures of statistics (Principes et méthodes statistiques), McGraw-Hill Book Co. Inc., 1960.

Steers, C.A. et Hajek, B.F., Determination of map unit composition by a random selection of transects (Détermination de la composition des unités cartographiques par une sélection aléatoire de transects), Soil Sci. Soc. Am. J., 1979, 43: 156-160

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à exprimer sa reconnaissance envers R.W. Arnold, qui a attiré son attention dès le printemps de 1979 sur le renouveau de la méthode du transect et de son application à la prospection pédologique.

Il aimerait également remercier les nombreuses personnes qui l'ont aidé en ce qui a trait au travail sur le terrain, notamment: A. Montgomery, J.A. McKeague, C. Tarnocai et K.Wires en Ontario; R. Baril, M. Nolan et J. Cossette au Québec; R. MacMillan en Alberta.

Merci aussi à G.M. Coen, G. Patterson, W.W. Pettapiece, R. MacMillan, J.H. Day et J.A. McKeague pour leur examen du manuscrit. Les observations critiques, mais constructives, de G.M. Coen ont été très appréciées.